

# 沟坡侵蚀 REE 示踪法试验研究初探

吴普特 刘普灵

(中国科学院 水土保持研究所 陕西杨陵 712100)  
水 利 部

**摘 要** 为解决野外小流域泥沙来源研究中 REE 的施放问题,在室内利用人工模拟降雨的方法,对坡面—沟坡连续体模型 REE 施放方法进行了试验研究。结果表明,对于坡度较陡,汇流相对集中的沟坡部位,可采用点穴施放法布设稀土元素,但仍需掺土,若布设纯稀土元素实际操作难度较大。在此基础上,提出了在野外小流域泥沙来源观测中可采用网格法布设点穴,并对其产沙量计算亦提出了相应的设想及方法。

**关键词** 点穴法 坡面—沟坡连续体 网格法 侵蚀强度

## Research on the Rare Earth Element (REE) Tracer Method of Slope-gully Erosion

Wu Pute Liu Puling

(Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences  
and Ministry of Water Resources Yangling Shaanxi 712100)

**Abstract** For tackling the rare earth element (REE) tracing method of small watershed erosion researching, the slope-gully model REE tracing method was carried by the simulated rainfall experiment. The result showed that we can use spot method taking REE on the gully region with the slope gradient stepness and the runoff intensity big, but before taking, we must mix REE with the soil, using pure REE is very difficult. Based On this, we suggested that we can use grid method to select spot in the observation of small watershed erosion, and take the REE, another we give a plan of calculation erosion yield in the small watershed sediment yield.

**Key words** spot method slope-gully model grid method erosion intensity

## 1 引 言

利用稀土元素(REE)示踪法进行坡面土壤侵蚀研究,已取得较为满意的结果,无论在施放技术方法,还是施放量的计算,以及研究精度等各方面均令人满意,并已在野外全坡长小区得到验证,渴望推广应用。但我们深知,REE 示踪法用于土壤侵蚀研究中的最大优点在于它可以

定量反映出侵蚀对象不同地貌部位的侵蚀量,在研究小流域泥沙来源时,这种方法具有很大的优越性。为此如何将这种方法引入到小流域泥沙来源研究中就成为今后研究的重要问题之一,这不仅是方法技术本身完善的需要,更是水土保持工作之急需,迄今为止,定量研究小流域泥沙来源还没有一种较为理想的方法,但小流域泥沙来源问题却是流域规划、治理与开发工作的基础。

根据黄土丘陵沟壑区小流域地貌特征,可将其以沟缘线为界划分为坡面与沟坡两大部分,坡面问题已得到解决,如果能将沟坡问题解决,那么 REE 示踪法即可用于小流域泥沙来源研究之中。沟坡的特点在于坡陡,施放 REE 时难以操作,同时由于坡面的汇流作用,沟坡径流冲刷及汇流作用要比坡面强,这是将 REE 示踪法用于沟坡侵蚀研究中必须考虑的两大问题。为了解决沟坡 REE 示踪法技术问题,我们首先拟在室内进行模拟试验,考虑到坡面径流汇集作用的影响,室内的模拟试验不能单单考虑沟坡问题,为此试验模型拟以坡沟连续的形式出现,这样既考虑了沟坡坡度陡峻的因素,又考虑了坡面径流汇集对沟坡的叠加作用,配合人工模拟降雨试验,选取不同的 REE 施放方法,以求解沟坡侵蚀 REE 示踪问题,为该种方法在小流域泥沙来源研究中的应用提供一定的技术依据。

2 试验设计方法

根据以往研究结果,黄土丘陵沟壑区坡面坡度大致在 $20^{\circ}$ 左右,沟坡坡度大致在 $40\sim 60^{\circ}$ 之间分布频率较大,为此坡沟连续体模型设计时坡面设计坡度选定为 $20^{\circ}$ ,沟坡设计坡度选定为 $50^{\circ}$ ,同时选定模型净宽为 $0.5\text{m}$ ,坡面与沟坡水平投影长度均为 $1.5\text{m}$ ,试验模型示意图如图1所示。共制作几何大小相同的两个模型,分别记作1<sup>#</sup>模型及2<sup>#</sup>模型,并分别在1<sup>#</sup>模型、2<sup>#</sup>模型沟坡断面出口处制作两个形状、大小相同的集水池,收集坡面与沟坡径流及泥沙。

选取 La、Ce、Nd、Sm 4种稀土元素,以坡面与沟坡连接处做为沟坡与坡面的分界线,亦就是我们常说的沟缘线,将坡面与沟坡连续体模型分为两个区,即坡面与沟坡小区。在坡面与沟坡小区中,又分别以其小区的几何中线位置将其再次分割为两部分,每一部分布设一种稀土元素。对于坡面部分自上而下,分别布设 La、Ce 两种元素,对于沟坡部分自上而下,分别布设 Nd、Sm 两种元素。元素施放布设分别依次按条带施放与点穴施放两种结合进行,布设位置如图1所示。为了进一步验证纯稀土元素可否用于土壤侵蚀示踪研究,在1<sup>#</sup>模型中施放纯稀土元素,2<sup>#</sup>模型仍按以往均匀掺土法施放,具体施放浓度如表1所示。

1<sup>#</sup>模型与2<sup>#</sup>模型并行排列,相距一定距离,该距离的大小不但要保证两模型均在降雨控制区内,实施一次降雨,两模型同步受雨、同时试验;而且要克服模型边界的交互影响作用。模

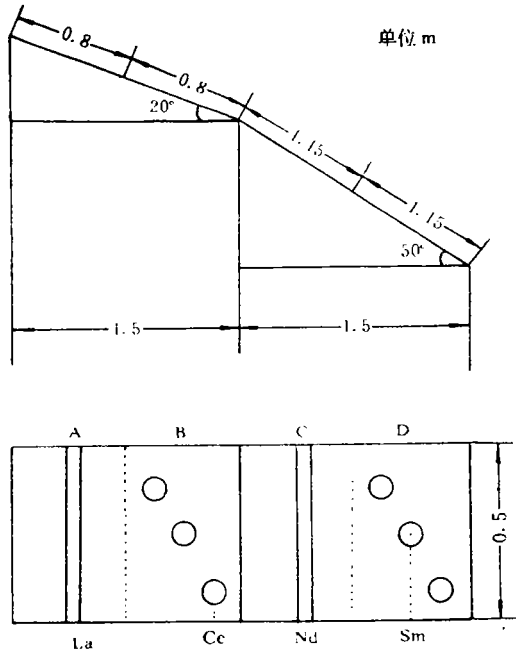


图1 沟坡模型及 REE 布设位置示意图

型坐落在水土保持研究所露天侵蚀试验场,试验用土选用当地土壤,坡面土壤容重控制在 $1.2\text{g}/\text{cm}^3$ 左右,沟坡土壤容重控制在 $1.4\text{g}/\text{cm}^3$ 左右,待装土完毕、控制容重达标之后,分别将坡面与沟坡整平,准备进行降雨试验。降雨设备选用侧喷式降雨喷头,雨强分别选取 $1.14\text{mm}/\text{min}$ 与 $1.58\text{mm}/\text{min}$ 两种,降雨历时为 $30\text{min}$ ,径流、泥沙观测采用常规方法。

表1 稀土元素施浓度  $C_j$  (mg/kg)

| 模型             | 元素种类                |                     |                     |                     |
|----------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                | La                  | Ce                  | Nd                  | Sm                  |
| 1 <sup>#</sup> | $10^6$              | $10^6$              | $10^6$              | $10^6$              |
| 2 <sup>#</sup> | $1.429 \times 10^5$ | $1.429 \times 10^5$ | $6.250 \times 10^4$ | $8.263 \times 10^3$ |

3 试验结果及分析

两次降雨产沙总量以及泥沙样中稀土元素(REE)浓度  $R_j$  的实测结果如表2所示。

表2 产沙总量及泥沙样中 REE 浓度  $B_j$

| 雨强<br>(mm/min) | 模型             | 泥沙样中 REE 浓度 $R_j$ (mg/kg) |        |        |        | 产沙总量<br>(kg) |
|----------------|----------------|---------------------------|--------|--------|--------|--------------|
|                |                | La                        | Ce     | Nd     | Sm     |              |
| 1.14           | 1 <sup>#</sup> | 29.72                     | 0      | 125.73 | 344.44 | 0.55         |
|                | 2 <sup>#</sup> | 36.17                     | 151.28 | 121.98 | 183.43 | 3.80         |
| 1.58           | 1 <sup>#</sup> | 36.33                     | 4.33   | 61.09  | 169.27 | 9.00         |
|                | 2 <sup>#</sup> | 44.14                     | 270.74 | 52.74  | 200.51 | 14.95        |

\*  $R_j$  值中已扣除了土壤背景值。

依据物质不灭定律,泥沙池中某种元素的总量应该等于坡面与沟坡土壤中土壤背景值中该种元素的量与外加施放该种元素量之和。

令:  $W$  —— 为次降雨侵蚀产沙总量;  $W_j$  —— 为第  $j$  种元素施放位置处的侵蚀产沙量;  $R'_j$  —— 为泥沙样中第  $j$  种元素实测浓度;  $C_j$  —— 为第  $j$  种元素施放浓度;  $B_j$  —— 为第  $j$  种元素土壤背景值浓度。

则对于第  $j$  种元素存在下列等式:

$$W \cdot R'_j = W_j(C_j + B_j) + (W - W_j)B_j \tag{1}$$

将(1)式整理化简得:

$$W \cdot R'_j = W_j C_j + W B_j$$

即: 
$$W_j = \frac{R'_j - B_j}{C_j} \cdot W \tag{2}$$

由于表2中  $R_j$  为泥沙样中已扣除土壤背景值  $B_j$  的第  $j$  种元素浓度,则

$$B_j = R'_j - B_j \tag{3}$$

将(3)式代入(2)式得:

$$W_j = \frac{R_j}{C_j} \cdot W \tag{4}$$

利用式(4),依据表1、表2中所观测、计算的数据,即可分别计算出坡面与沟坡部分稀土元素施放处的侵蚀产沙量,该量即  $W_j$  除以元素施放位置处的面积即为侵蚀强度,计算结果如表3所示。

表3 元素施放位置处侵蚀强度(kg/m<sup>2</sup>)

| 雨强<br>(mm/min) | 模型             | 元素施放位置与种类 |       |       |        |
|----------------|----------------|-----------|-------|-------|--------|
|                |                | A(La)     | B(Ce) | C(Nd) | D(Sm)  |
| 1.14           | 1 <sup>#</sup> | 0.044     | 0     | 0.400 | 3.510  |
|                | 2 <sup>#</sup> | 0.360     | 0.850 | 2.650 | 6.160  |
| 1.58           | 1 <sup>#</sup> | 0.880     | 0.057 | 3.140 | 28.210 |
|                | 2 <sup>#</sup> | 1.780     | 5.960 | 4.510 | 55.510 |

表4 两种施放方法侵蚀强度比值计算结果

| 雨强<br>(mm/min) | 纯元素施放法<br>(A:B:C:D) | REE 掺土施放法<br>(A:B:C:D) |
|----------------|---------------------|------------------------|
| 1.14           | 1:0.09:79.77        | 1:2.36:7.36:17.11      |
| 1.56           | 1:0.06:3.57:32.06   | 1:3.35:2.53:31.59      |

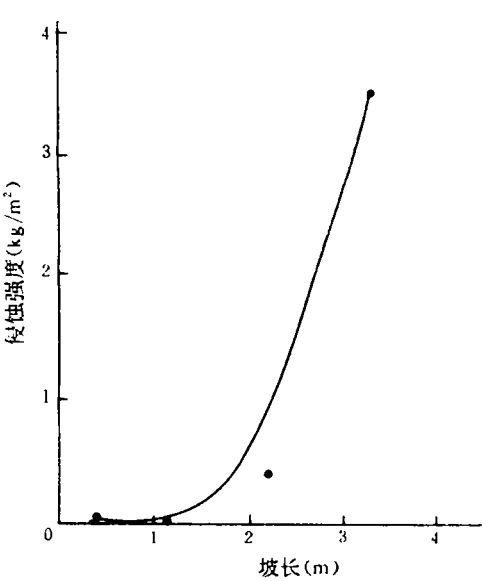


图2 1<sup>#</sup>模型侵蚀强度分布趋势  
(I = 1.14mm/min)

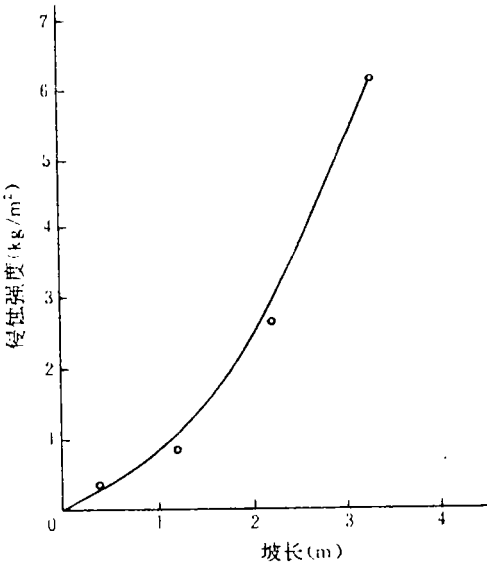


图3 2<sup>#</sup>模型侵蚀强度分布趋势  
(I = 1.14mm/min)

由于我们点穴的布设位置是按研究区域的对角线排列,表3所计算出的侵蚀强度实际上是上述斜线方向上的平均侵蚀强度,加之点穴布设密度较大,可认为该侵蚀强度就是上述斜线任何中心处的侵蚀强度。据此我们可以做出坡面—沟坡连续体模型侵蚀强度垂直分布曲线图,分别如图2、3、4及图5所示。由图中可以看出,侵蚀强度随汇流长度的增加而递增,且沟坡侵蚀强度远大于坡面侵蚀强度,这种变化趋势与坡面—沟坡实际侵蚀状况是相符的。汇流长度增加,在降雨相同状况下,上部来水量增加,径流强度相应增加,随之而来径流冲刷侵蚀动力亦就增加,势必引起侵蚀强度增加。这也初步证明了 REE 示踪法的确可以用于坡面—沟坡连续体,即

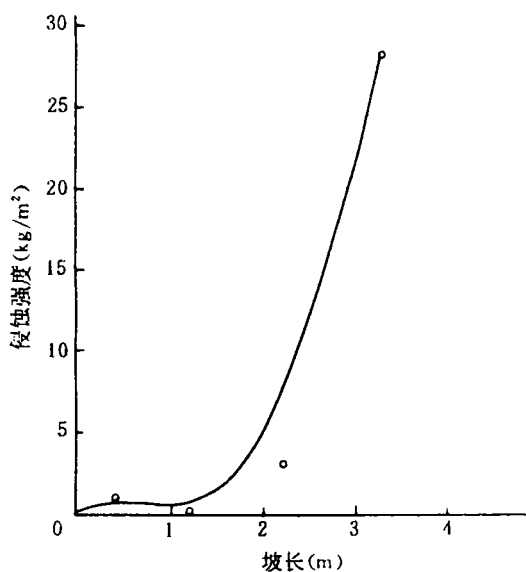


图4 1<sup>#</sup>模型侵蚀强度分布趋势  
( $I = 1.56\text{mm/min}$ )

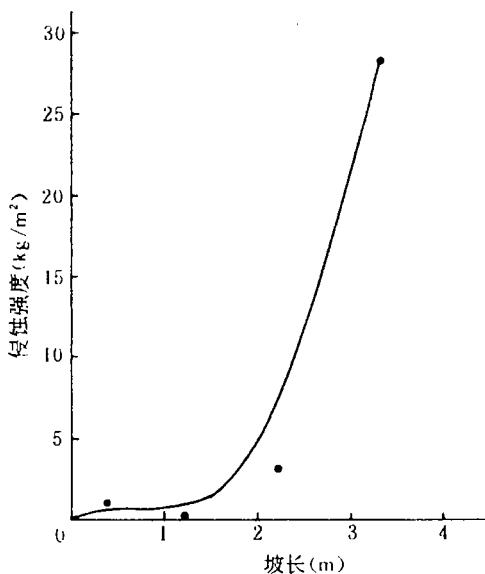


图5 2<sup>#</sup>模型侵蚀强度分布趋势  
( $I = 1.56\text{mm/min}$ )

坡度较陡部位侵蚀量的观测,同时亦证明了点穴法施放稀土元素进行土壤侵蚀产沙观测的可行性。

那么可否采用施放纯稀土元素的方法呢?表4为两种施放方法侵蚀强度垂直分布比值计算结果。由表4可以看出,对于纯稀土元素施放法这一比值存在一个矛盾,当雨强为 $1.14\text{mm/min}$ 时,坡面下部侵蚀量为零,这一点亦可由表3看出。对于土壤均一的坡面,坡面下部由于降雨及上部汇流的影响,其径流强度肯定大于坡面上部,坡面上部都有侵蚀发生,下部不可能没有,这显然与实际侵蚀状况不符,同时亦与试验观测过程中坡面侵蚀形态不符,产生这种矛盾的原因主要是由于采用纯稀土元素施放所致。当采用纯稀土施放时,施放量很小,加之又采用点穴法施放,施放面积亦小,由于坡面侵蚀过程中所产生的“微地形”差异,很可能导致坡面径流未流经元素施放点处,泥沙池中未收集到该种元素,从而导致其侵蚀量为零。当然亦会存在元素施放点处发生径流集中现象,产生强烈侵蚀区,导致该点侵蚀强度突然剧增现象,这也是点穴施放法布设点穴时值得注意的一个问题。

若采用纯元素点穴法施放,由于施放绝对量小,这就从根本上限制了点穴的布点面积,尽管我们一再强调它仅代表其自身位置时的侵蚀强度,然一旦出现上述情况,则前功尽弃。同时利用纯元素施放,元素相对集中,给泥沙池中采样时均匀化带来很大麻烦,也许布设点真正产生了侵蚀,它由于纯元素在坡面搬运过程中未与侵蚀土壤均匀混合,进入泥沙池后很可能沉积在某一微小区域,由于取样操作等一系列误差,很难保证取到这种元素。因此,我们尽管说从理论上分析可以采用施放纯稀土元素方法,但实验观测结果来看,具体操作难度较大,为此建议不宜采取纯稀土施放方法,正确的方法应该是施放前加一定量的土,充分均匀化,再施放于布设位置处。表4中掺土施放法计算结果亦证明了这一点。

上述分析已经证明了掺土点穴施放稀土元素的确可以用于土壤侵蚀观测,但它仅代表

施放点处的侵蚀强度,能否代表更大区域,以及该区域面积到底有多大仍是一个问题。事实上我们用点穴处的侵蚀强度、分别代表坡面下部,沟坡下部区域侵蚀强度,并以次降雨侵蚀产沙量做为控制标准,计算误差很大。因此点穴法如何在野外小流域泥沙来源观测中进行实施仍是需要研究的问题。

在上述问题未解决之前,我们可以这样考虑,不管点穴能够代表的区域面积有多大,它总能代表一定的面积。为此我们可以设想在研究区域内选定若干个点,如小流域,标出其平面位置,按照点穴施放法布设稀土元素,即可求出上述各点的侵蚀强度,结合施放点的平面位置可求出研究区域的侵蚀产沙曲线图,对此曲线进行积分就可求出研究区域的侵蚀产沙量,这样就可将稀土元素示踪法技术应用到野外小流域泥沙来源的观测中去。当然布设的点愈多,其精度愈高,点无限多时,其精度为1,此时就变成了段面施放法,在野外具体实施时,可采用网格法布设,网格的大小及布设直接与观测精度有关,当然对于强度均一的片蚀区,无疑采用点穴施放法是最经济的。

## 4 讨 论

通过坡面—沟坡连续体模型试验,我们可初步得出下列看法。

(1)点穴施放法的确可用于小流域泥沙来源观测中,但它仅仅能够代表其本身布设位置处的侵蚀强度,或者它能够代表的区域侵蚀强度。选用点穴法进行小流域泥沙来源或其它区域泥沙来源研究时,其研究精度取决于点穴的布置密度,密度越大,精度越高。

(2)利用纯稀土元素施放法,尽管可以测出其所在位置处侵蚀强度,但操作难度很大,不宜提倡。

(3)点穴施放由于其经济,施放工作量小,可望用于小流域泥沙来源研究,具体布设可采取网格法,网格如何划分与精度有关,仍需进一步研究。

### 参考文献

1 田均良等. 土壤侵蚀 REE 示踪法试验研究初报. 水土保持学报, 1992, 3

2 朱显谟. 黄土区土壤水蚀主要类型. 水土保持通报, 1982, 3~4

\*\*\*\*\*  
(上接第68页)

4 田均良, 周佩华, 刘普灵等. REE 示踪法研究初报. 水土保持学报, 1992, 6(2)

5 Knaus, R. M. etc. Accretion and Canal impacts in a rapidly subsiding wetland. ■ A new soil horizon maker method for measuring recent accretion, Estuaries, 1989, 12(4)

6 田均良, 彭祥林. 黄土高原土壤地球化学, 科学出版社, 1995